

6. 欧州熱波と日本の冷夏2003

木本昌秀*

1. はじめに

1993年以来10年振りの北日本の冷夏とともに2003年夏は未曾有の欧州熱波も話題になった (Black *et al.*, 2004; Luterbacher *et al.*, 2004).

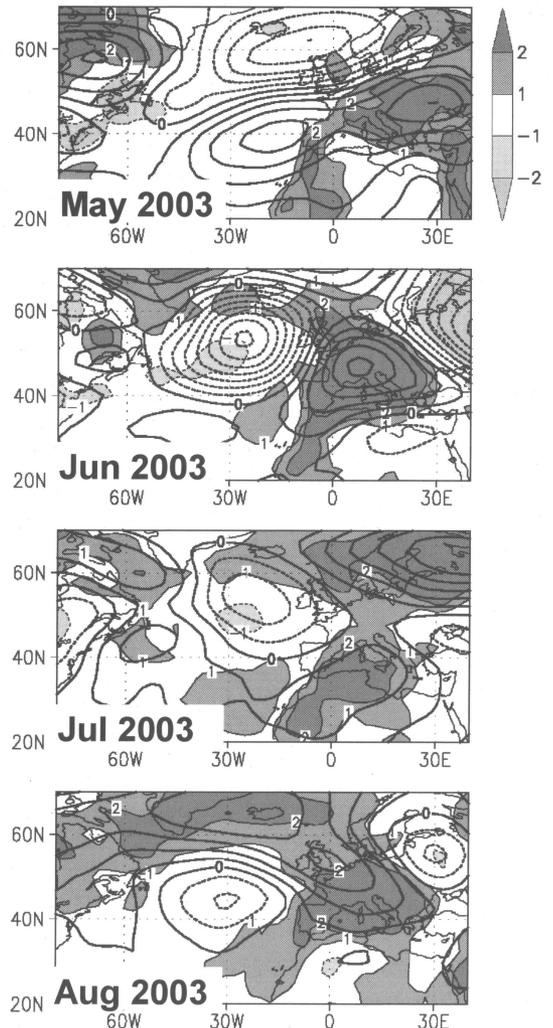
日本の冷夏は、7月と8月、とくにオホーツク海高気圧の勢力の強かった前者が顕著であった。一方、ヨーロッパでは、死者が多数出た8月上旬の熱波が衝撃的であったが、春先から暖かい状態が続いていた。

ヨーロッパから極東にかけてはシベリア上空を越えてEUパターンなどのテレコネクションがあることが、とくに冬季についてはよく知られている。また、極東の初夏の天候に春先のシベリアの影響があるのではないかということも近年盛んに話題になっている。

ここでは、2003年夏のケースでは、高緯度での欧州～極東テレコネクションも一役買っていたのではないかという観点でコメントする。

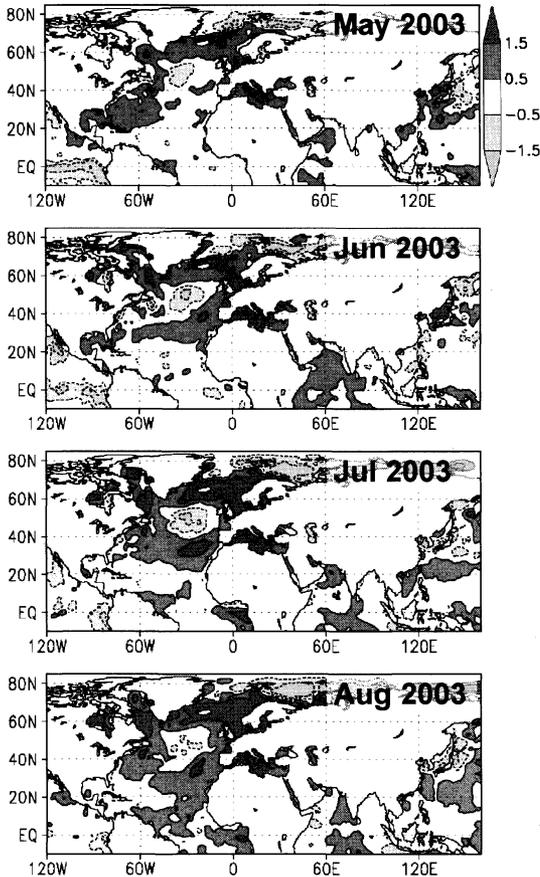
2. 欧州のようす

第1図は2003年5～8月の月平均偏差図である。地表気温 (陰影) と500 hPa 高度 (等値線) を示した。8月だけでなく5月頃から欧州の高温傾向が続いていたことがわかる。また、地表の高温偏差は上空の高気圧偏差、あるいはその後面の暖気移流 (偏差) によることがうかがい知れる。ここで筆者が注目したいのは、欧州の上流、北大西洋上にこの期間を通じて上空の低気圧偏差が見られることである。とくに6～8月は多少位置にゆらぎはあるがイベリア半島北西方に持続的に低気圧偏差が見られる。この低気圧前面では持続的な暖気移流偏差があり、下層の高温偏差に貢献したのではないかと考えられる。



第1図 2003年5～8月欧州付近の月平均偏差図。陰影は地表気温偏差 (°C), 等値線は500 hPa 高度偏差 (10 m 毎)。NCEP/NCAR 再解析データによる。

* 東京大学気候システム研究センター。



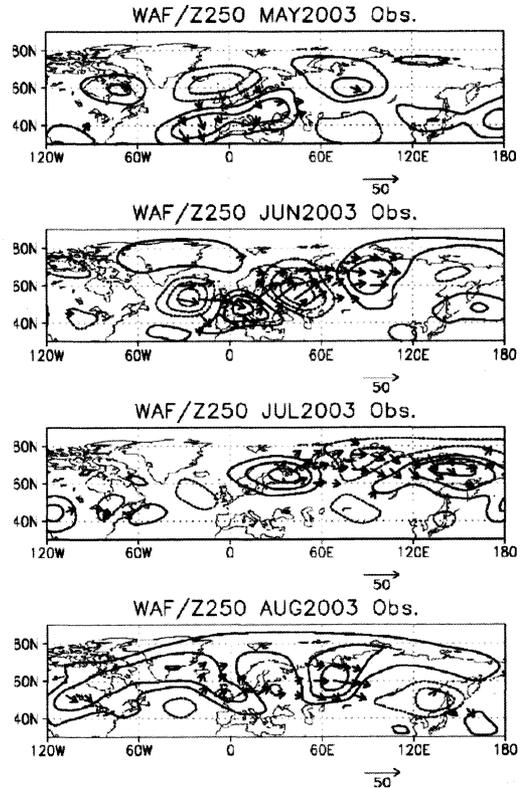
第2図 2003年5～8月の月平均海面水温偏差.

3. 北大西洋の海面水温

数か月以上にわたる上空の低気圧偏差の存在は大気循環の持続性のみからは理解しにくい。そこで同時期の海面水温偏差 (SSTA) のようすを第2図で見てみる。すると、およそ上空低気圧の下にあたる位置に低SSTAが対応していたことがわかる。

一般に、中高緯度域での海面水温偏差は大気循環の偏差によって形成されることが多いことが知られている。北西太平洋のこの低SSTAは5月頃から顕著になった。5月の上空の南北双極子様の気圧偏差に伴って海面付近にも西風偏差が期待されるが、これに伴う潜熱フラックス増加、乱流混合、エックマン移流偏差等が低SSTAの形成に貢献したのではないかと考えられる。

いったん形成された低SSTAパッチは大気循環よりは長い持続性を持つ。6月以降SSTAと上空低気圧偏差がともに持続していた原因の1つにこの海域での



第3図 観測された2003年5～8月の250 hPa 高度偏差(等値線; 50 m 毎, 零線は略), 月平均偏差場の波活動度フラックス(矢印; 単位は m^2s^{-2}).

海気相互作用が挙げられるのではなかろうか。より詳しいデータによる検証が必要である。

4. Siberian Express

さて、このような欧州の持続的様相はより大きなスケールでどのような影響を及ぼしていたであろうか。第3図は第1図、第2図と同様、2003年5～8月の天気図であるが、大西洋～極東域のより大きな範囲を250 hPa 面での高度偏差(等値線; 50 m 毎, 零線は略)と、それをもとに計算したTakaya and Nakamura (2001) による波活動度フラックス(矢印)をプロットした。波活動度フラックス計算の際の基本場は長期間の月平均気候値とした。

これによれば6～8月には北西太平洋～欧州から東方に弧状の波伝搬が見える。伝搬は極東域で終わっている。

日本の冷夏をもたらしたのは7、8月に見えるオ

ホークおよび北東シベリア上空の高気圧偏差，ないしはその南方の低気圧偏差との組によるジェット分流～梅雨型気圧配置であるが，そのような気圧配置の形成にシベリア上空を渡るテレコネクションが貢献していたのではない。

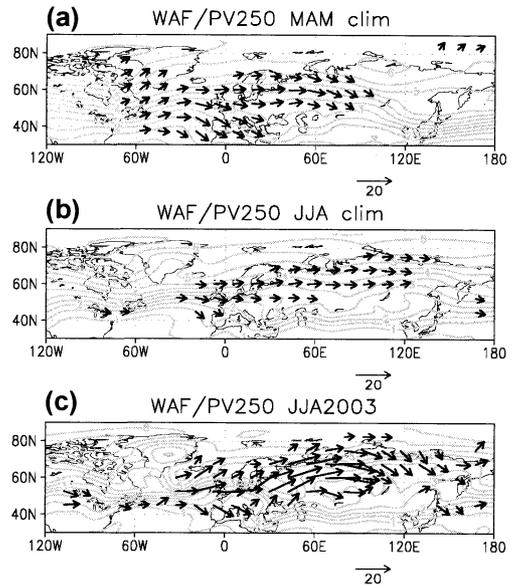
月平均でなくもう少し細かい時間スケールでも波伝搬の様子を見たが(図省略)，各偏差中心のゆっくりとした西進や波伝搬の間欠性なども見られるものの，20日周期以上の長周期偏差成分には第3図(6～8月)の矢印で示唆される経路に沿う波伝搬が顕著であった。

5. 平年との比較

第3図で見たシベリアテレコネクションは2003年に特徴的なものであったのだろうか。この季節，地域における250 hPa面の準定常波伝搬の気候学平均の様子を調べてみた。まず，第4図a，bは，1979～98年の平均気候値による250 hPa面ポテンシャル渦度(PV；等値線)と波活動度フラックスの同じく気候学的平均値(矢印)である。後者は，各年各月の月平均偏差を「擾乱」成分とし，長期間月平均を「基本場」として計算したフラックスの長年平均として定義した。したがって，気候学平均的な擾乱活動の目安を与える。

第4図aは3～5月(MAM)の平均，第4図bは6～8月(JJA)の平均である。MAMでは波活動は北大西洋からシベリア中央部で終わっているが，JJAになると活動域がやや北方にずれ，またより極東方まで伸びていることがわかる。このような波活動域のずれは背景場PVの南北傾度の大きい(～ジェットの高い)場所の北方，東方へのずれ，伸張と整合的である。他の季節の図(略)と比べても，波活動の伝搬がもっとも北方に寄り，また，極東まで伸張するのは夏(JJA)のみの特徴であった。春から夏にかけてユーラシア大陸は昇温するが，北極海の昇温はそれより遅い。大陸～北極海間の温度コントラストの増大による背景PV場の変化でこのような波活動の特徴を説明できる可能性が高い。

第4図cは第4図bと同様JJAの図であるが，2003年のPV，波活動の3か月平均を示した。「波(～擾乱)」は各月平均偏差と定義されている。基本場は長年平均。第4図bと比べて2003年の波活動～シベリアテレコネクションが顕著であったことがわかる。このことには，2003年は，高緯度，ユーラシア大陸と北極海の境界付近でPVの南北傾度が増大していた，すなわちよ



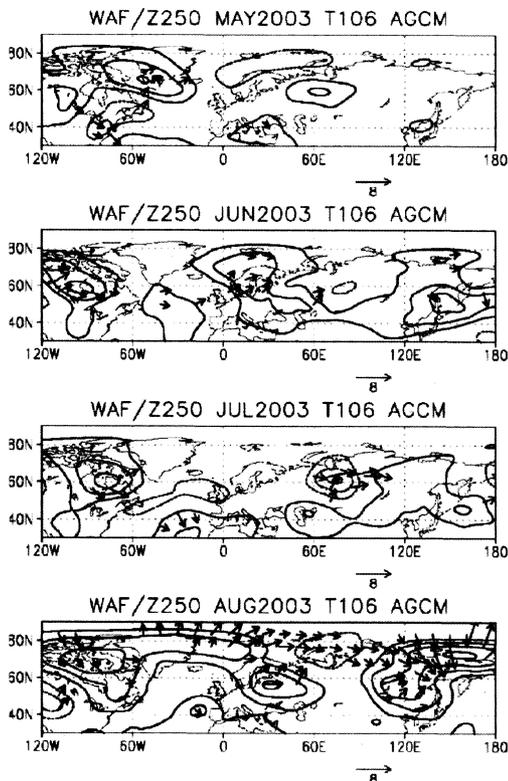
第4図 250 hPaにおけるポテンシャル渦度(等値線)と波活動度フラックス(矢印)。(a) 3～5月，(b) 6～8月の観測気候値，(c) 2003年6～8月。詳しくは本文参照。

り南方の亜熱帯ジェットとダブルジェットの様相を呈していたことが関連しているであろう(ダブルジェットについては前田氏の報告参照)。ちなみに，前回の冷夏時，1993年の波活動度も，2003年と同様の北方シフト，活発化の様相が見られた(図略)。

6. Hindcast 実験

2003年日本の冷夏には欧州からシベリア上空を越えてユーラシア大陸と北極海の境界域を極東まで伸びるテレコネクションが貢献していたのではないかとの考えを述べた。また，波活動の原点付近，北大西洋での大気海洋相互作用による持続性強化が波活動～大規模場偏差の持続性の一因ではないかとの仮説も提示した。

仮説は検証されねばならない。難しいが，その第一歩として大気大循環モデルによるhindcast実験を行ってみた。T106鉛直56層のCCSR/NIES/FRSGC大気大循環モデル(AGCM)を用い2003年5月1～10日の1日ごとのNCEP/NCAR再解析値を初期値として10メンバーアンサンブル実験を8月終わりまで行った。SSTは気候学的平均値を与えたもの(climSST)と観測された2003年の値を与えたもの(obsSST)の2セットを行った。T42, 20層モデルでも行ったが結

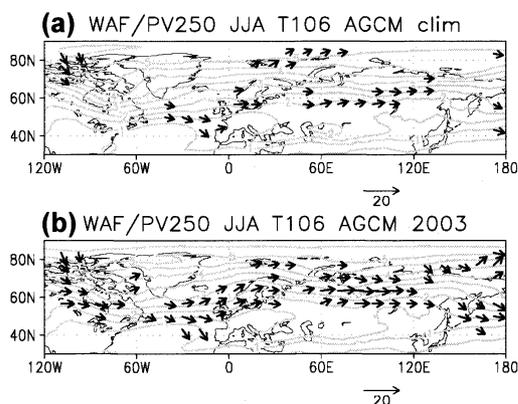


第5図 第3図と同様、ただし、AGCMによるhindcast実験の結果。アンサンブル平均であるため偏差は過少評価気味になる。等値線間隔は20 m 毎(零線は略)、矢印のスケールも第3図とは異なる。

果は(T106と比べても)芳しくなかったので紹介を省略する。

第5図は、第3図の観測と対比されるべきモデルの結果である。climSST実験のアンサンブル平均を基本場とし、obsSST実験との差を偏差と定義する。6月、8月は極東シベリア域に正の高度偏差が見られる、欧州から極東への波伝搬が少し見える、など努力の跡は見えるが、偏差位置、時期など観測とかなり違っているので予報(hindcast)としては成功とは言いがたい、やはり予報はむづかしい。

第6図は、第4図b、cに対応するもので、PVはclimSST、obsSSTのアンサンブル平均、波活動度フラックス計算の基本場はclimSSTのアンサンブル平均、偏差成分はアンサンブル各メンバーのつき平均値の基本場からのずれと定義した。第6図a、bを比べると、2003年のSSTを与えた(b)の方が気候値SST(a)よりもシベリア導波管の活動が活発である様子について



第6図 第4図b、cと同様、ただし、AGCMによる実験の結果。詳しくは本文参照。

では観測と似ている。波の位置、位相まで予測することは難しいということか。また、このような変化がこのSSTによってどのようにもたらされたかは今のところ不明である。

7. おわりに

極東の夏の天候偏差はいろいろな要因でもたらされる。簡単に思いつくだけでも、PJパターンなど日本の南方海上からのテレコネクション、インドモンスーンの影響、亜熱帯ジェット上西方からのシルクロードテレコネクション、そして本稿で扱った北の影響など。ある年の偏差はこれら複数要因の競合、相互作用の結果として生ずる。上に触れたようにそもそも偏差波の位置位相まで予測可能性はないのかもしれない。これらもろもろを踏まえた上で、ありうべきプロセスを蒸留抽出して理解していくことが重要であると考えている。

最後に、本稿執筆にあたり、荒井美紀、安富奈津子、中村卓也、宮坂隆之各君の協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- Black, E., M. Blackburn, G. Harrison, B. Hoskins and J. Methven, 2004: Factors contributing to the summer 2003 European heatwave, *Weather*, 59, 217-223.
Luterbacher, J., D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean and H. Wanner, 2004: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500, *Science*, 303, 1499-1503.

Takaya, K. and H. Nakamura, 2001: A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasi-geostrophic eddies on

a zonally varying basic flow, *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608-627.

質疑応答と総合討論

質疑応答

岩崎(東北大学): 8月中旬のオホーツク海高気圧は特異だったということだが、構造はどうだったか。

高野: 上層のブロッキングを伴わない移動性擾乱のようだ。

岩崎: 上層のリッジがはっきりしないということは、下層が強い低温ということか。

高野: どうして発達したのかは中村さんが話してくれると思う。現実的には、10年くらい見たことがない。

松本(東京大学): 前田さんの EOF の長期的傾向で93年と94年とも小さく、日本の冷夏と暑夏はリニアでないという感じがする。

前田: 94年もダブルジェット構造ができていて、ダブルジェットだからといって冷夏ではない。エディの場所による。

加藤(岡山大学): 8月の前半くらいまではオホーツク海高気圧ができるが、8月のオホーツク海高気圧は7月と基本的には同じと考えてよいか。

中村: 8月の強いオホーツク海高気圧の合成図を作ってみると、非常にまとまりのない evolution となる。

加藤: 季節変化みたいなものもある。

中村: 陸の方もそろそろ冷え始めるので。

高野: ヨーロッパの猛暑はダイポールと関係があるのか。

山形: ダイポールは確かに1つの要素になっていると思う。アラビア海付近の対流が直接ヨーロッパに下降流を起こしたということもあるようだ。

田中(筑波大学): 冬の北極振動については、力学的なモードとか統計的な虚像であるという議論があるが、夏の北極振動についてはどうか。

山崎: 前田さんが示しているように、ダブルジェットの強い時の順圧不安定モードとして似たものが出てくる。今後、さらにこういう解析を進めたい。

岩崎: wave guide ができて、ヨーロッパの熱波の影響が日本に伝わるということは分かったが、ヨーロッパの熱波は1か月のスケールで予測できるのか。

木本: 北大西洋の SST パッチの上空に低気圧ができることがシミュレートできれば予報できる。しかし、1か月前から、ヨーロッパが低温偏差から高温偏差になるのは予測できない。

総合討論

司会(杉): まず8月の中旬の低温について、それから7月の低温、そして予測について、最後に地球温暖化との関係という順で議論していく。はじめに、8月の中旬の低温をもたらしたオホーツク海高気圧がいつもと違っていたことについて、高野さんから補足することは。

高野: 過去の事例で、6月に上空にトラフがあってオホーツク海高気圧が発達した例が1例あったが、それ以外にはなかった。したがって、予報官が数値予報結果を修正するのは不可能、数値モデルに頼るしかない。昨年8月の事例について、モデルの下層雲を改良した実験を行った。下層雲が増え改善されたケースもあったが、初期値を変えるとあまり改善されない。

司会: 中村さんから、8月のオホーツク海高気圧の成因という点からコメントがあるか。

中村: 8月中旬は、亜熱帯ジェットと寒帯前線ジェットがユーラシア大陸上で合流して、大西洋の方で発達した擾乱がシベリアを横切って日本付近にやって来やすい状態になっていた。この擾乱が停滞性のリッジを強めるように働く傾向があるので、移動性擾乱の役割がこのケースでは無視できないと思う。

山形: 昨年の夏は、ダイポールがある程度成長していたが、8月15日ごろインド洋の西の方から非常に強